УДК 622.7: 622.74: 622.762: 622.764: 622.765

**К.Е.АНАНЕНКО**
*Сибирский федеральный университет.*
*Институт цветных металлов и золота, Красноярск*

# ИЗВЛЕЧЕНИЕ БЛАГОРОДНЫХ МЕТАЛЛОВ ИЗ ШЛАКОВ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО ПРОИЗВОДСТВА

Представлены результаты лабораторных испытаний обогащения металлургического шлака, реализованы стадиальные схемы обогащения с использованием электрических сепараторов, отсадочной и флотационной машин, шлюзов, концентрационного стола, центробежного сепаратора «Итомак». К внедрению предложены две схемы обогащения: «сухая» и «мокрая».

The paper presents results of laboratory tests in upgrading metallurgic slag. Staged upgrading schemes have been designed with application of high-tension separators, jigs washers and flotation machines, sluices, concentration tables, and the Itomack centrifugal separator. As the result, two upgrading schemes - dry and wet - are suggested.

Объектом исследований явились шлаки аффинажного производства, анализ пробы вещественного состава которых показал, что шлак сложен стекловатыми силикатными обломками различного цвета (зеленого, серого, розового, кремового, белого, черного), в разной степени раскристаллизованных, небольшого количества металлической фазы (1,6 %) преимущественно серебряно-белого цвета и темных, бурых обломков магнитной фракции (менее 1 %). В преобладающей силикатной части пробы в большей мере присутствуют обломки зеленого и серого, менее всего – черного цветов.

Изучение силикатных обломков под микроскопом в проходящем и отраженном свете позволило выяснить, что часть их представлена нераскристаллизованной стекловатой массой, но большинство в разной степени раскристаллизовано с выделением различных минеральных фаз, для определения которых помимо оптических исследований был использован рентгеноспектральный и рентгеноструктурный анализы. Состав обломков (исключая черные) независимо от цвета следующий, %: кремнекислота 55-65, цинк, который вводится металлическим в плавку, 8-15, глинозем 4-5. Кроме того, они содержат различные количества щелочных и щелочно-земельных элементов, а также серебро и золото, которые в виде мельчайших каплевидных корольков «застряли» в силикатной части.

В черных обломках очень редко встречаются корольковые формы металла размером 0,005-0,048 мм в диаметре светло-желтого света с пленкой окисления. Из-за резкой анизотропии графита металлическая фаза диагностируется с трудом. По оптическим свойствам она более всего соответствует серебру либо твердому раствору серебра с золотом (электруму), на что указывает рентгеноспектральный анализ (табл.1).

Во всех остальных цветных обломках металлическая фаза встречается чаще и не только в виде корольков, но и в виде пластинчатых и неправильных форм размером 0,006-0,072 мм. Преобладающие размеры 0,024-0,048 мм, редко до 0,12 мм. Судя по составу и оптическим свойствам, металлическая фаза представлена самородным серебром и изоморфно-растворенным в нем золоте.

С учетом крупности (табл.2), наличия вкраплений и физических свойств извлекаемых металлов (плотности и электропроводности), были выполнены поисковые исследования на электрических сепараторах, аппаратах для гравитационного и флотационного методов обогащения.

*Таблица 1*

**Химический состав различных по цвету обломков в шлаках**

| Цвет обломков | Содержание | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Na | K | Mg | Ca | Zn | Fe | $SiO_2$ | Ag | Au |
| Серые(белые) | 5,0 | 4,0 | 4,0 | 9,0 | 8,0 | – | 55-65 | 2446 | 68 |
| Зеленые | 13,0 | 5,0 | 2,0 | 3,3 | 10,0 | – | 50,0 | 6024 | 180 |
| Розовые | 12,0 | 4,0 | 2,0 | 6,0 | 15,0 | – | 60 | 2153 | 22 |
| Кремовые | Не определено | 0,5 | 24,0 | 4,0 | 8,5 | 6,5 | 40 | 5000 | Не определено |
| Черные | – | – | – | – | – | – | – | 367 | 98 |

[*] Содержание Ag и Au в граммах на тонну, остальных элементов в процентах.

*Таблица 2*

**Результаты ситового анализа пробы шлаков**

| Класс крупности, мм | Выход класса, % | Содержание | | Распределение, % | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | Серебро, % | Золото, г/т | Серебро | Золото |
| +2,5 | 13,11 | 2,77 | 1096,0 | 22,70 | 22,99 |
| –2,5+1,6 | 45,55 | 1,51 | 602,4 | 42,99 | 43,90 |
| –1,6+1 | 27,80 | 1,77 | 652,2 | 30,75 | 29,01 |
| –1+0,063 | 8,29 | 0,53 | 226,2 | 2,74 | 3,0 |
| –0,063+0 | 5,25 | 0,25 | 130,9 | 0,82 | 1,1 |
| Исходная проба | 100,0 | 1,60 | 625,0 | 100,0 | 100,0 |

Реализованы двухстадиальные схемы измельчения. Выяснилось, что на первой стадии обогащения исходных шлаков крупностью –2,5 + 1,6 мм отсадочная машина за одну операцию обеспечивает извлечение металлов в тяжелую фракцию на 56-52 %, при степени концентрации металлов около 14. Исследование технологических показателей операции обогащения второй стадии показали, что с помощью концентрационного стола и винтового шлюза нельзя получить концентраты с удовлетворительным извлечением и содержанием в них металлов. Неподвижный шлюз обеспечивает высокое извлечение металлов в тяжелую фракцию, но из-за низкого содержания металлов в ней этот продукт необходимо перечищать, что нецелесообразно.

Операции флотации на второй стадии дают удовлетворительные результаты, %: потери с хвостами серебра 7, золота 16, суммарное содержание металлов в общем концентрате 13,4.

При измельчении шлака до крупности 18 % класса –0,15 мм можно выделить грохочением на сите в 1 мм металлическую фракцию: извлечение серебра и золота в этот продукт примерно 74 и 67 % соответственно. Операции центробежной сепарации позволяют доизвлечь из минусового продукта грохота около 15 % серебра и 14 % золота. Для повышения эффективности этой операции необходим более тонкий помол.

Итак, лучшие показатели обогащения обеспечивает схема с использованием отсадки и флотации, а также схема с избирательным (селективным) измельчением, грохочением и последующей центробежной сепарацией. Селективное измельчение проводилось на аппарате института. Был проведен ряд экспериментов по измельчению

корки электролизеров, а также успешной овализации шамота и периклаза.

Схема с отсадкой и флотацией позволяет получить концентрат с суммарным содержанием металлов около 13,4 % и извлечением в него 95,5 % серебра и 89,4 % золота.

Итогом проведения исследований явилась разработка двух технологических схем: «мокрой» и «сухой». «Мокрая» схема с отсадкой и флотацией дает возможность получить концентрат с суммарным содержанием металлов 13,4 % и извлечением в него серебра и золота 95,5 % и 89,4 % соответственно. «Сухая» схема с селективным вскрытием зерен металла, последующим грохочением и операциями центробежной сепарации обеспечивает извлечение 94,5 % серебра и 89,8 % золота в концентрат с суммарным содержанием металлов примерно 15,5 %. Первая стадия измельчения и операция грохочения для выделения металлической фракции в этой схеме может быть реализована без применения воды при выходе металлической фракции 1,47 %, извлечении серебра 74 % и золота 67 %.

Научный руководитель канд. техн. наук доц. *Н.К.Алгебраистова*